



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 197 47 628 A 1**

⑲ Aktenzeichen: 197 47 628.7
⑳ Anmeldetag: 29. 10. 97
㉑ Offenlegungstag: 6. 5. 99

⑤① Int. Cl.⁶:
B 02 C 19/06
B 02 C 13/09
B 02 C 13/00
B 02 C 13/26
B 02 C 13/31
B 02 C 25/00

DE 197 47 628 A 1

⑦① Anmelder:
Bayer AG, 51373 Leverkusen, DE

⑦② Erfinder:
Kräuter, Udo, Dr., 51377 Leverkusen, DE; Benz,
Mathias, Dr., 51427 Bergisch Gladbach, DE; Ulfik,
Benno, Dipl.-Ing., 51379 Leverkusen, DE; Riehle,
Claus, Dr., 51519 Odenthal, DE

⑤⑤ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:

DE	42 34 172 A1
DE	42 15 455 A1
DE	39 20 273 A1
DE	36 21 400 A1
DE	30 33 575 A1
DE-OS	20 59 262
DE	196 81 222 T1
GB	21 40 171 A
SU	7 72 590
SU	6 98 653

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤④ Verfahren zur Füllstandsüberwachung bei Strahlmühlen und Prallmühlen

⑤⑦ Das Verfahren dient zur Messung und Regelung der Feststoffbeladung von Strahlmühlen, die mit einem elektrisch angetriebenen Schaufelradsichter ausgestattet sind oder von Prallmühlen, die einen elektrisch angetriebenen Läufer aufweisen. Die Füllstandsmessung beruht darauf, daß die Momentandrehzahl des mit der Strahlmühle verbundenen Schaufelradsichters oder des Läufers der Prallmühle in Form eines zeitlich schwankenden Drehzahlsignals fortlaufend gemessen wird und die Stärke der Drehzahlschwankungen als Meßgröße für die Beladung ausgewertet wird. Eine Variante des Verfahrens besteht darin, daß ein vom Schaufelradsichter oder vom Läufer der Prallmühle erzeugtes Schwingungssignal einer Frequenzanalyse unterzogen wird und die Momentanamplitude der für den Schaufelradsichter oder Läufer der Prallmühle charakteristischen Frequenzkomponente im Frequenzspektrum fortlaufend gemessen wird. Die Stärke der Amplitudenschwankungen dieser Frequenzkomponente ist dann ein Maß für die Beladung bzw. den Füllstand der Mühle. Das damit in Zusammenhang stehende Meßsignal kann als Regelgröße dienen, um die Beladung der Mühle konstant zu halten.

DE 197 47 628 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Messung und Regelung der Beladung von Strahlmühlen und Prallmühlen mit pulverförmigem Feststoff. Strahlmühlen sind in der Regel mit einem elektrisch angetriebenen Schaufelradsichter für einen klassierenden Austrag ausgestattet. Bei Prallmühlen ist der Läufer elektrisch angetrieben. Bei diesen Mühlentypen hängt das Mahlergebnis von dem aktuellen Füllgrad des Feststoffs in der Mühle ab. Das vorgestellte Verfahren dient zur Bestimmung des Feststofffüllstandes in der Mühle und kann damit zur Regelung der Feststoffzufuhr bei solchen Mühlentypen eingesetzt werden.

Die Feststoffbeladung von Strahl- oder Prallmühlen wird bisher auf unterschiedliche Weise bestimmt. Ein Verfahren beruht auf der Wägung der Mühle vor und während des Betriebes. Diese Lösung ist technisch sehr aufwendig und aufgrund der Massenvhältnisse sehr ungenau. Ein anderer Ansatz beruht auf der Messung der Kapazitätsänderung von Sensoren, die in unterschiedlichen Höhen an der Mühle angebracht sind. Auch dieses Verfahren ist technisch aufwendig und zeigt keine zufriedenstellende Auflösung. In anderen Fällen wird die Stromaufnahme des Sichter- oder Läufermotors gemessen. Die Stromaufnahme ist ein Maß für die Belastung des Sichters und somit ein Maß für die Feststoffbeladung in der Mühle. Das Verfahren hat jedoch den Nachteil einer hohen Trägheit und Ungenauigkeit.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, den Feststoffgehalt in der Mühle während des Betriebs on-line zu bestimmen. Der Meßwert bzw. ein davon abgeleitetes elektrisches Signal soll zur Regelung der Feststoffdosierung herangezogen werden.

Diese Aufgabe wird bei einer mit unterschiedlichen Beladungen betriebenen Strahl- oder Prallmühle erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Momentandrehzahl eines mit der Strahlmühle verbundenen Schaufelradsichters oder des Läufers der Prallmühle in Form eines zeitlich schwankenden Drehzahlsignals fortlaufend gemessen wird und die Stärke der Drehzahl Schwankungen als Meßgröße für die Beladung ausgewertet wird.

Eine alternative, auf einem analogen physikalischen Prinzip beruhende Lösung der gleichen Aufgabe besteht darin, daß ein vom Schaufelradsichter oder vom Läufer der Prallmühle erzeugtes Schwingungssignal einer Frequenzanalyse unterzogen wird, die Momentanamplitude der für den Schaufelradsichter oder Läufer der Prallmühle charakteristischen Frequenzkomponente im Frequenzspektrum fortlaufend gemessen wird und die Stärke der Amplitudenschwankungen als Meßgröße für die Beladung ausgewertet wird.

Dabei geht man in der Praxis vorzugsweise so vor,

- a) daß die Drehzahl bzw. Amplitudenabweichungen des Sichters oder Läufers von einem vorgegebenen Drehzahl- bzw. Amplitudenschwellwert fortlaufend bestimmt werden
- b) daß die Zahl der Drehzahl- bzw. Amplitudenabweichungen bezogen auf den vorgegebenen Drehzahl- bzw. Amplitudenschwellwert in fortlaufenden Intervallen elektronisch gezählt und als Zählsignal ausgegeben wird und
- c) daß das fortlaufende Zählsignal oder ein davon abgeleitetes Signal als Meßgröße für die Beladung verwendet wird.

Eine Variante der Erfindung besteht darin, daß fortlaufend die Standardabweichung vom zeitlichen Mittelwert des Drehzahlsignals oder vom zeitlichen Mittelwert der Momentanamplitude der charakteristischen Frequenzkompo-

nente oder eine davon abgeleitete Größe ermittelt und als Meßgröße für die Beladung verwendet wird.

Eine weitere Verbesserung, insbesondere im Hinblick auf Regelzwecke, kann man erreichen, wenn das Zählsignal oder die Standardabweichung durch eine zeitliche Mittelwertbildung geglättet wird und das Mittelwertsignal als Meßgröße für die Beladung verwendet wird.

Gemäß einer bewährten technischen Ausführung wird mit einem an der Strahlmühle oder an der Prallmühle angebrachten Schwingungssensor ein Schallsignal detektiert und daraus mit Hilfe einer Frequenzanalyse die Momentandrehzahl bestimmt.

Alternativ kann die Messung der Momentandrehzahl auch direkt mit Hilfe eines an der Antriebswelle des Schaufelradsichters oder Läufers der Prallmühle angebrachten Impulsgebers oder Spannungsgebers erfolgen.

Eine weitere Alternative besteht darin, daß die Momentanstromaufnahme eines zum Antrieb des Schaufelradsichters oder Läufers verwendeten Elektromotors gemessen und daraus die Momentandrehzahl bestimmt wird.

Durch die Anreicherung von schwer mahlbaren Bestandteilen des Feststoffes in der Mühle kann ein instationäres Mahlverhalten hervorgerufen werden, so daß die Feststoffzudosierung dem aktuellen Füllstand in der Mühle angepaßt werden muß. Es besteht daher ein Bedarf für eine geregelte Feststoffzudosierung. Dementsprechend besteht eine Weiterentwicklung der Erfindung darin, daß das gegebenenfalls geglättete Zählsignal oder die Standardabweichung oder ein davon abgeleitetes Signal als Regelgröße für die Beladung bzw. Belastung von Strahlmühlen oder Prallmühlen verwendet wird und das zur Eindosierung von pulverförmigem Feststoff dienende Dosierorgan so nachgestellt wird, daß die Beladung bzw. Belastung konstant bleibt.

Mit der Erfindung werden folgende Vorteile erzielt:

Das erfindungsgemäße Meß- und Regelverfahren kann sehr einfach in bereits bestehende Apparaturen integriert werden. Die Regelung der Mühlen auf einen konstanten Betriebspunkt hinsichtlich der Feststoffbeladung ist möglich. Auf diese Weise läßt sich eine konstante Produktqualität sowie eine Reduktion der Betriebskosten erzielen. Der Mahlvorgang kann automatisiert werden.

Im folgenden wird die Erfindung an Hand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 eine Strahlmühle in Verbindung mit einem Schaufelradsichter,

Fig. 2 eine Fourierzerlegung (Fourierspektrum) der Schaufelradsichterfrequenz,

Fig. 3 das Drehzahlsignal als Funktion der Zeit am Schaufelradsichter bei niedriger und hoher Beladung der Mühle und

Fig. 4 die Schaufelradsichterfrequenz und eine daraus abgeleitete Regelgröße bei verschiedenen Beladungen der Mühle.

Zunächst soll noch einmal das Meßprinzip erläutert werden. Bei einer Strahlmühle wird der Feststoff mit Hilfe von Mahlluft zerkleinert. Das zerkleinerte Material wird über einen direkt mit der Mühle verbundenen, elektrisch angetriebenen Schaufelradsichter ausgetragen. Die gewünschte Korngröße wird über die Solldrehzahl des Sichter- oder Läufermotors eingestellt. Der Feststoffdurchsatz hängt von der Mahlbarkeit des Feststoffs, der Feststoffbeladung in der Mühle, sowie der eingestellten Sichter- oder Läuferdrehzahl ab. Die Feststoffbeladung in der Strahlmühle wirkt sich auf die Belastung des Sichter- oder Läufermotors (Sichterbelastung) aus. Bei steigender Belastung ist abhängig von der Auslegung des Sichter- oder Läufermotors eine geringe Abnahme der Drehzahl zu beobachten. Diese Abhängigkeit könnte im Prinzip als Grundlage für eine

Messung der Feststoffbeladung herangezogen werden.

Ein wesentlich empfindlicheres und damit auch genaueres Verfahren beruht jedoch darauf, daß man die Sichterbelastung durch eine Messung des zeitlichen Verlaufs der momentanen Sichter- bzw. Schaufelradrehzahl bestimmen kann, wobei die Messung des Momentanwerts möglichst trägheitslos, d. h. mit einer sehr kleinen Zeitkonstante erfolgt, damit auch kurzzeitige Drehzahlschwankungen erfaßt werden. Der hier zugrundeliegende Meßeffect geht auf den Befund zurück, daß die Sichterrehzahl im Leerlauf der Mühle (d. h. ohne Feststoffinhalt) nur sehr geringe Schwankungen aufweist, wohingegen mit zunehmender Sichterbelastung die kurzzeitigen Drehzahlschwankungen stark zunehmen. Die Anzahl, mit der in einem gegebenen Zeitintervall signifikante Abweichungen der Sichterrehzahl von einer vorgegebenen Solldrehzahl auftreten, ist somit ein Maß für die aktuelle Belastung des Sichters und damit auch für die Beladung der Strahlmühle. Diese Meßgröße kann dann in der Weise zur Regelung der Mühlenbeladung benutzt werden, daß sie als Regelgröße dient, die durch entsprechende Nachstellung des in die Mühle eindosierten Feststoffmassstroms (Stellgröße) konstant gehalten wird.

Ausführungsbeispiel

In einer Strahlmühle 1 wird Feststoff gemahlen. Die Mahlluft wird über die Mahldüsen 2 zugeführt. Die Eindosierung des zu mahlenden Feststoffs erfolgt durch den Eintrag 3. Der beim Mahlvorgang entstandene Feinanteil wird durch einen in die Mühle integrierten Schaufelradsichter 4, der von dem Motor 5 angetrieben wird, abgetrennt und mit dem Sichtluftstrom ausgetragen. Die momentane Sichterrehzahl wird mit Hilfe eines auf den Motor 5 aufgebrachten Schwingungssensors 6, der z. B. Druck- oder Körperschallsignale aufnimmt, indirekt gemessen. Zu diesem Zweck wird das erzeugte Schwingungssignal einer Frequenz- bzw. Fourieranalyse unterzogen, um die Frequenz des Sichtermotors und damit die Momentandrehzahl dynamisch herauszufiltern. Diese Frequenzkomponente wird im Folgenden als charakteristische Frequenzkomponente bezeichnet. Das resultierende Drehzahlsignal wird einem Meßcomputer 7 zur weiteren Verarbeitung zugeleitet. Anstelle eines Schwingungssensors bzw. Mikrofons kann auch ein an der Welle des Sichters oder Läufers der Prallmühle angebrachter Impulsgeber oder ein dynamoelektrischer Spannungsgeber zur direkten Messung der Umlauffrequenz verwendet werden. Eine weitere Möglichkeit für eine indirekte schnelle Bestimmung der Momentandrehzahl besteht darin, die momentane Stromaufnahme des Sichter- oder Läufermotors fortlaufend zu messen.

Eine alternative, auf das gleiche physikalische Prinzip zurückgehende Meßmethode beruht darauf, die Amplitudenschwankungen der charakteristischen Frequenzkomponente im Fourierspektrum auszuwerten. Die Stärke der Amplitudenschwankungen ist, analog zur Stärke der Drehzahlfluktuationen, ein Maß für die Beladung der Mühle.

Eine typische Fourieranalyse des Schwingungssignals ist in Fig. 2 gezeigt. Neben Rausch- und Störsignalen (z. B. von der Netzfrequenz) ist die Frequenz des Sichtermotors sowie die zugehörigen Oberwellen im Fourierspektrum enthalten. Das Maximum M bei 266 Hz liegt bei der dominierenden Frequenz (charakteristische Frequenz), die durch den Sichtermotor hervorgerufen wird und ist damit für die aktuelle Sichterrehzahl repräsentativ.

Fig. 3 zeigt den Drehzahlverlauf des Sichters bei hoher (untere Kurve) und niedriger Feststoffbeladung (obere Kurve) der Mühle. Man erkennt, daß im Falle der hohen Beladung viel häufiger starke Frequenzänderungen auftreten.

Die Zahl der Frequenzschwankungen in einem vorgegebenen Zeitintervall ist somit ein Maß für die Mühlenbeladung. Zur Bildung des Meßwerts braucht also im Meßcomputer nur die Zahl der Drehzahlabweichungen bzw. Frequenzschwankungen bezüglich eines vorgegebenen, fest eingestellten Schwellwerts fortlaufend ermittelt werden. Dieses Zählsignal ist direkt für die Mühlenbeladung repräsentativ. Bei der oben angesprochenen alternativen Meßwertfassung wird die Amplitude der charakteristischen Frequenz fortlaufend gemessen und die Abweichungen von einem vorgegebenen Amplitudenschwellwert gezählt und als Zählsignal ausgegeben bzw. weiterverarbeitet.

Eine weitere Variante besteht darin, die Standardabweichung vom zeitlichen Mittelwert des Drehzahlsignals oder des Amplitudensignals der charakteristischen Frequenz zu bestimmen. Diese Standardabweichung bzw. ein davon abgeleiteter Meßwert ist ebenfalls in eindeutiger Weise mit der Beladung der Mühle korreliert und kann daher als Meßgröße angezeigt und/oder als Regelgröße weiterverarbeitet werden.

In Fig. 4 ist exemplarisch ein Betriebsfall dargestellt, bei dem vorübergehend eine starke Feststoffbeladung durch eine hohe Zudosierung erzeugt wurde, die anschließend wieder zurückgefahren wurde. Falls das Meßsignal für die Regelzwecke genutzt werden soll, um die Mühle mit konstanter Beladung zu betreiben, ist eine weitere Signalverarbeitung zweckmäßig, die nachfolgend beschrieben wird. Wie schon im Zusammenhang mit Fig. 3 erläutert, wird zunächst das Drehzahlsignal ohne Mühlenbelastung gemessen. Diese Messung dient der Ermittlung des gerätespezifischen zeitlichen Verlaufs der Sichterrehzahl. Der Mittelwert des Signals entspricht dem eingestellten Sollwert des Sichters. Wird von diesem Wert die vierfache Standardabweichung des Signals abgezogen, so erhält man einen guten Näherungswert für die niedrigste Drehzahl des Sichters im unbelasteten Zustand. Mit Sichterbelastung wird dann die Zahl der Drehzahlwerte bestimmt, die innerhalb eines Zeitintervalls von 10 s unterhalb der niedrigsten Leerlaufdrehzahl liegen. Die Zahl der Abweichungen dividiert durch die Gesamtzahl der Messungen in diesem Zeitintervall ergibt die Häufigkeit der Drehzahlabweichung. Diese Häufigkeit hängt von der Belastung des Sichters und damit von der Feststoffbeladung in der Mühle ab. Da dieser Meßwert relativ stark schwankt, wird er nach bekannten Methoden mit Hilfe einer gleitenden Mittelwertbildung geglättet.

In Fig. 4 ist die so geglättete reziproke Häufigkeit der Signalabweichungen eingetragen (gestrichelte Kurve). Der auf diese Weise gebildete Meßwert kann dann als Regelgröße verwendet werden. Bei 0% (keine Drehzahlabweichung) begann der Versuch. Bei sehr starker Mühlenbeladung liegt der als Regelgröße fungierende Meßwert bei ca. 100%. Je nach Belastungszustand sind also Werte zwischen 0% und 100% möglich. Der Sollwert für die Feststoffdosierung kann z. B. auf 70% gesetzt werden. Der Regelkreis ist so ausgeführt, daß ein mit dem Mühleneintrag 3 verbundenes Dosierorgan 8 für die Feststoffzufuhr (Mahlgut), z. B. eine Dosierschnecke, so nachgestellt wird, daß die Abweichung der Regelgröße von dem vorgegebenen Sollwert minimiert wird.

Bei einer Prallmühle wird der Feststoff durch den Aufprall auf eine rotierende Stüßscheibe zermahlen. Die Belastung des Mahlmotors hängt, analog zum Sichtermotor bei der Strahlmühle, von der Feststoffbeladung in der Mühle ab. Durch die Messung der Motordrehzahl mit hoher zeitlicher Auflösung und anschließender Bestimmung der Anzahl der signifikanten Drehzahlabweichungen in einem definierten Zeitintervall, kann der Feststoffgehalt in der Prallmühle analog zu dem oben beschriebenen Verfahren bestimmt werden.

Die oben beschriebene Regelung der Mühle kann damit ebenfalls zur Anwendung gelangen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung und Regelung der Feststoffbeladung von Strahlmühlen, die mit einem elektrisch angetriebenen Schaufelradsichter ausgestattet sind und von Prallmühlen, die einen elektrisch angetriebenen Läufer aufweisen, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Momentandrehzahl des mit der Strahlmühle verbundenen Schaufelradsichters oder des Läufers der Prallmühle in Form eines zeitlich schwankenden Drehzahlsignals fortlaufend gemessen wird und die Stärke der Drehzahlschwankungen als Meßgröße für die Beladung ausgewertet wird.
2. Verfahren zur Messung und Regelung der Feststoffbeladung von Strahlmühlen und Prallmühlen, dadurch gekennzeichnet, daß ein vom Schaufelradsichter oder vom Läufer der Prallmühle erzeugtes Schwingungssignal einer Frequenzanalyse unterzogen wird, daß die Momentanamplitude der für den Schaufelradsichter oder Läufer der Prallmühle charakteristischen Frequenzkomponente im Frequenzspektrum fortlaufend gemessen wird und die Stärke der Amplitudenschwankungen als Meßgröße für die Beladung ausgewertet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,
 - a) daß die Drehzahlabweichungen bzw. Amplitudenabweichungen der charakteristischen Frequenzkomponente des Schaufelradsichters oder Läufers von einem vorgegebenen Drehzahlschwellwert bzw. Amplitudenschwellwert fortlaufend bestimmt werden,
 - b) daß die Zahl der Drehzahl- bzw. Amplitudenabweichungen bezogen auf den vorgegebenen Drehzahl- bzw. Amplitudenschwellwert in fortlaufenden Intervallen elektronisch gezählt und als Zählsignal ausgegeben wird
 - c) und daß das fortlaufende Zählsignal oder ein davon abgeleitetes Signal als Meßgröße für die Beladung verwendet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß fortlaufend die Standardabweichung vom zeitlichen Mittelwert des Drehzahlsignals oder vom zeitlichen Mittelwert der Momentanamplitude der charakteristischen Frequenzkomponente bzw. eine davon abgeleitete Größe ermittelt und als Meßgröße für die Beladung verwendet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Zählsignal oder die Standardabweichung durch eine zeitliche Mittelwertbildung geglättet wird und das Mittelwertsignal als Meßgröße für die Beladung verwendet wird.
7. Verfahren nach Anspruch 3 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß zur Messung der Momentandrehzahl an der Strahlmühle oder an der Prallmühle ein Schwingungssensor angebracht ist, mit dem ein Schallsignal detektiert wird, aus dem die Momentandrehzahl mit Hilfe einer Frequenzanalyse bestimmt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 3 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Messung der Momentandrehzahl mit Hilfe eines an der Antriebswelle des Schaufelradsichters oder Läufers der Prallmühle angebrachten Impulsgebers erfolgt.
9. Verfahren nach Anspruch 3 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Messung der Momentandrehzahl mit

Hilfe eines an der Antriebswelle des Schaufelradsichters oder des Läufers der Prallmühle angebrachten dynamoelektrischen Spannungsgebers erfolgt.

10. Verfahren nach Anspruch 3 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Momentanstromaufnahme eines zum Antrieb des Schaufelradsichters oder Läufers verwendeten Elektromotors gemessen und daraus die Momentandrehzahl bestimmt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 3 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß das gegebenenfalls geglättete Zählsignal oder die Standardabweichung oder ein davon abgeleitetes Signal als Regelgröße für die Beladung bzw. Belastung der Strahl- oder Prallmühle verwendet wird und das zur Eindosierung von pulverförmigem Feststoff dienende Dosierorgan so nachgestellt wird, daß die Beladung bzw. Belastung konstant bleibt.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

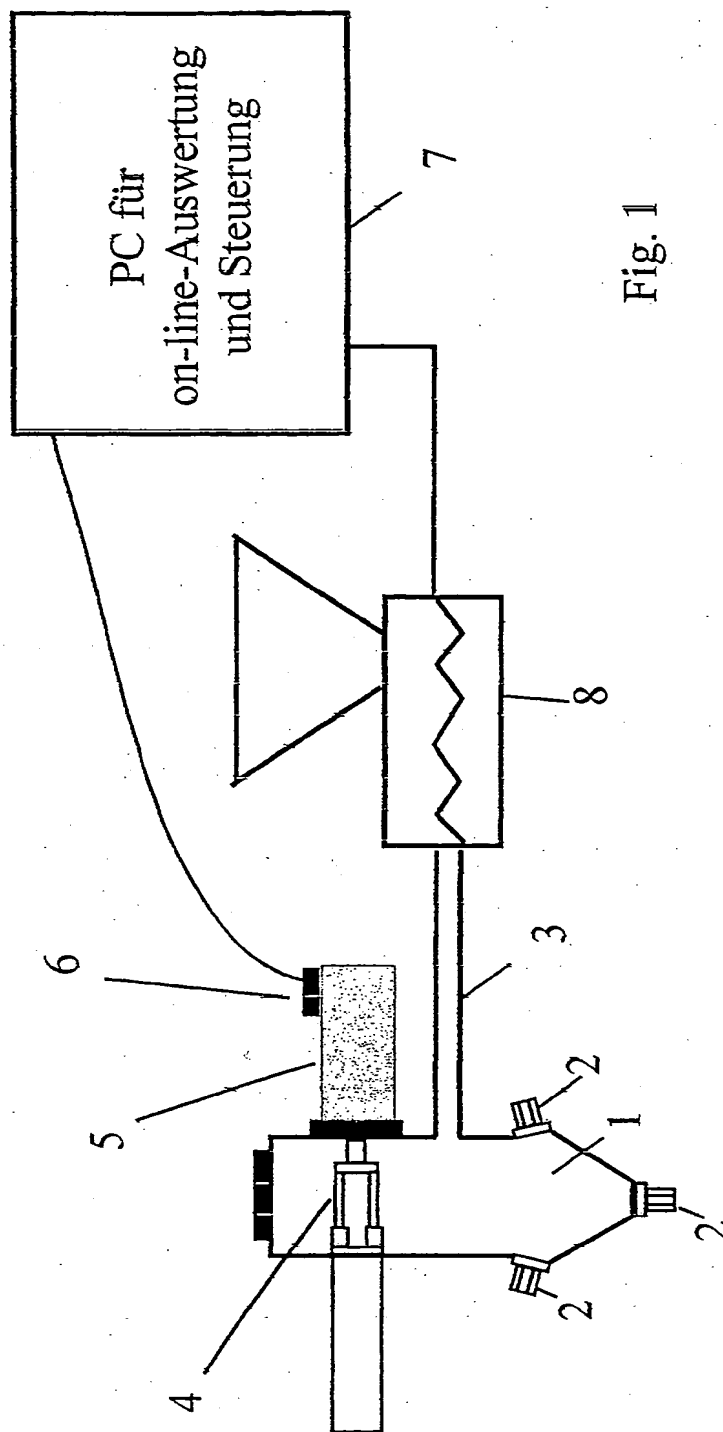


Fig. 1

Fig. 2

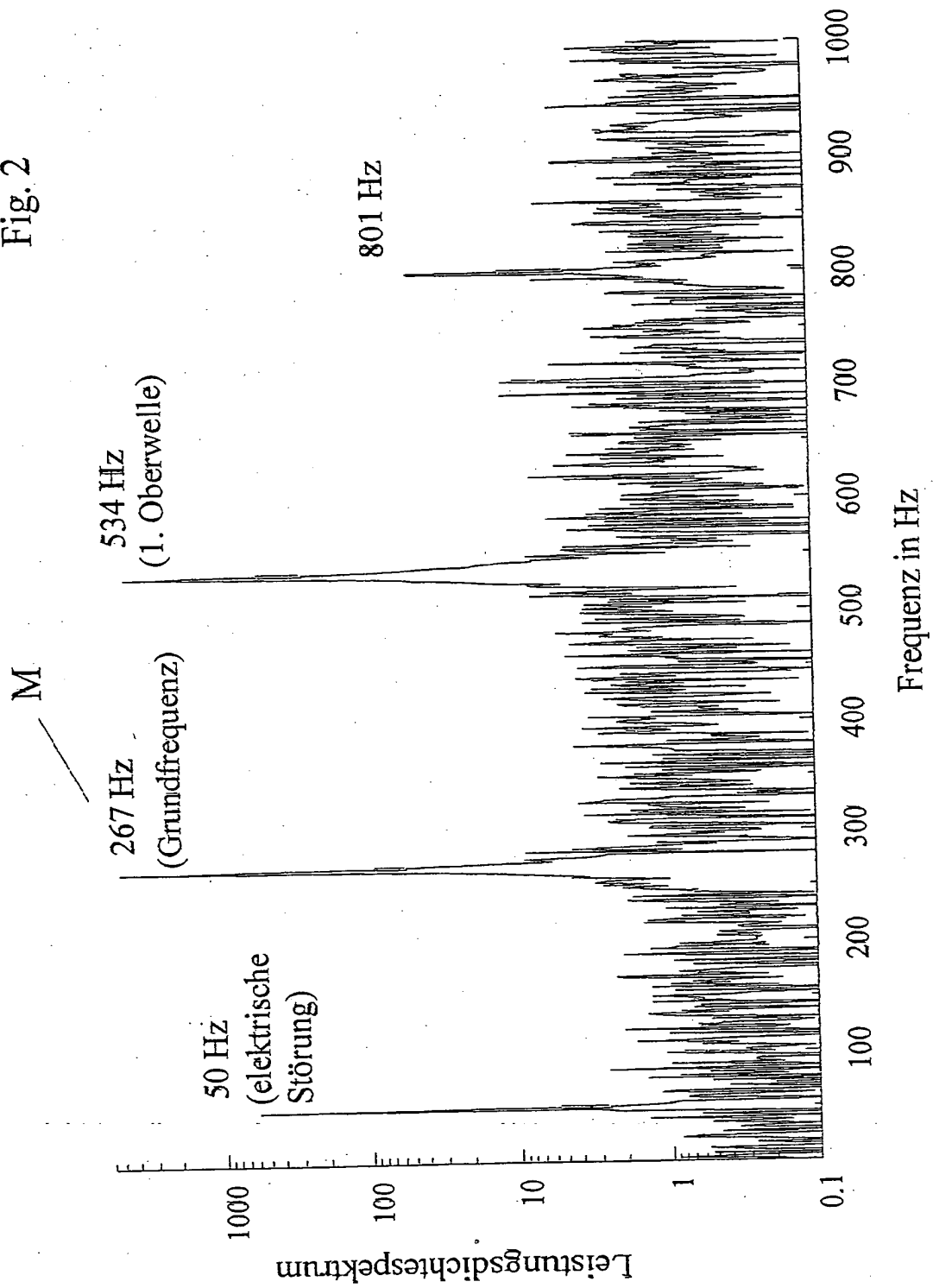
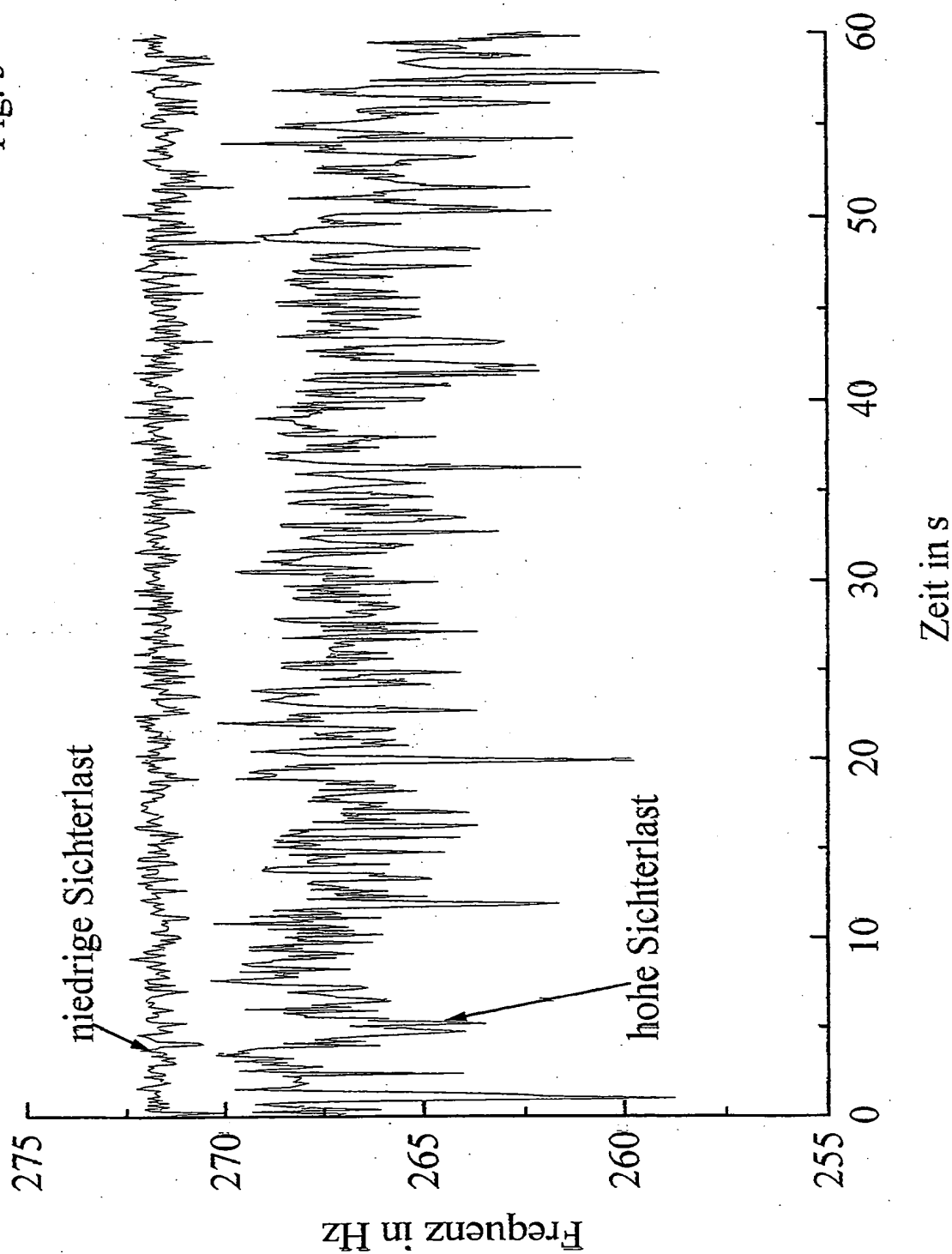


Fig. 3



Zeit in s

